

Комп'ютерне підтримування виробничих процесів

У псевдозріженому шарі процес горіння частинок вугілля істотно інтенсифікується в порівнянні з шаровим спалюванням, оскільки доступ кисню повітря до поверхні частинки тут значно більше, чим до шматків вугілля, що спалюється шаровим способом. Можливість спалити подрібнене паливо робить цей процес спалювання схожим на спалювання в пиловугільній топці з тією перевагою, що час перебування частинки вугілля в псевдозріженому шарі можна регулювати. Це не вдається зробити в пиловугільних топках. Тривале перебування дрібних частинок вугілля в топці дає можливість понизити механічне недопалювання вуглецю в часточці палива. Особливо цінною є можливість глибокого вигорання вуглецю у високозольних частинках при порівняно невисоких температурах, рівних 1123—1223 К.

ДЕКОМПОЗИЦІЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОНВЕРСІЇ МЕТАНУ

Козаневич З. Я., Колпаков В. В., Ківа І. І.

Національний технічний університет України «КПІ», e-mail: kivaigor@gmail.com

Парова конверсія є найбільш енергоємнішою стадією у виробництві аміаку та водню. Процес реалізується в трубчатих печах. Динаміка змін цін на сировину та нестабільність попиту на головну продукцію обумовлює неритмічність роботи технічного обладнання та необхідність його функціонування у режимах зміни навантаження.

Узагальнений критерій оптимізації повинен вирішувати задачу знаходження оптимальної траєкторії переходу обладнання з режиму на режим при умові мінімізації собівартості готового продукту:

$$C = \int_{T_0}^{T_f} \Pi_{\text{узар.}}(T) \sum_{i=1}^N G_i[\phi_i(t), \phi'_i(t)] dt, \quad (1)$$

з обмеженнями: $\forall t \leq T_0 \quad \phi_i(t) = 0$, $\forall t \leq T_f \quad \phi_i(t) = \phi_i$, де C – інтегрована собівартість одиниці продукції за цикл виробництва від пуску до зупинки, T_0 – початковий час, T_f – кінцевий час, N – кількість переходів, $\Pi_{\text{узар.}}(T)$ – узагальнені витрати, G_i – функція щільності розподілу споживаної енергії на проміжку фазових станів технологічного циклу, ϕ_i – фазові траєкторії, ϕ'_i – швидкість реалізації.

Наведений критерій призводить до складних обчислень та множини можливих оптимальних траєкторій при вирішенні задач автоматизації. Рациональніше провести декомпозицію критерію оптимізації на більш простіші задачі.

Зміна навантаження технологічного обладнання процесу конверсії призводить до змін властивостей каталізатора та частоти величин термонапружених станів реакційних труб. Це головні обставини, які можуть значною мірою впливати на кінцеву собівартість продукції.

Згідно [1, 2] існує алгоритм відновлення властивостей каталізатора зміною навантаження, як один з елементів подовження безупинного циклу виробництва. На рисунку 1 зображено блок-схему алгоритму регенерації каталізатора.

Таким чином зміна навантаження роботи печі може бути використано не тільки як виробнича необхідність, але й як окремий технологічний процес, що обумовлює відновлення каталізатору та подовження виробничого циклу. Ця обставина дає можливість сформулювати перший елемент декомпозиційної задачі оптимізації виробничого циклу процесу конверсії. А саме мінімізацію витрат сировини на відновлення властивостей каталізатора.

У зв'язку з цим в системі управління циклом виробництва пропонується використовувати алгоритм корекції тимчасового ресурсу використання реакційних труб [2]. Накопичення термічний напружень в процесі змін навантаження пропонується розраховувати з використанням моделі динаміки температурного поля реакційної зони [3].

Радіальні і окружні температурні навантаження σ_r^T , σ_θ^T визначаються по формулам:

$$\sigma_r^T = \frac{\alpha E (T_1 - T_2)}{2(1-\nu) \ln \frac{b}{a}} \left[\frac{a^2}{b^2 - a^2} \left(\frac{b^2}{r^2} - 1 \right) \ln \frac{b}{a} - \ln \frac{b}{r} \right], \quad (2)$$

$$\sigma_\theta^T = \frac{\alpha E (T_1 - T_2)}{2(1-\nu) \ln \frac{b}{a}} \left[1 - \ln \frac{b}{r} - \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left(\frac{b^2}{r^2} - 1 \right) \ln \frac{b}{a} \right], \quad (3)$$

де α , E , ν – коефіцієнт лінійного розширення, модуль пружності і коефіцієнт Пуассона матеріалу труби, a , b – внутрішній і зовнішній радіус труби, r – поточний радіус, T_1 , T_2 – температура на внутрішній і зовнішній стінках труби.

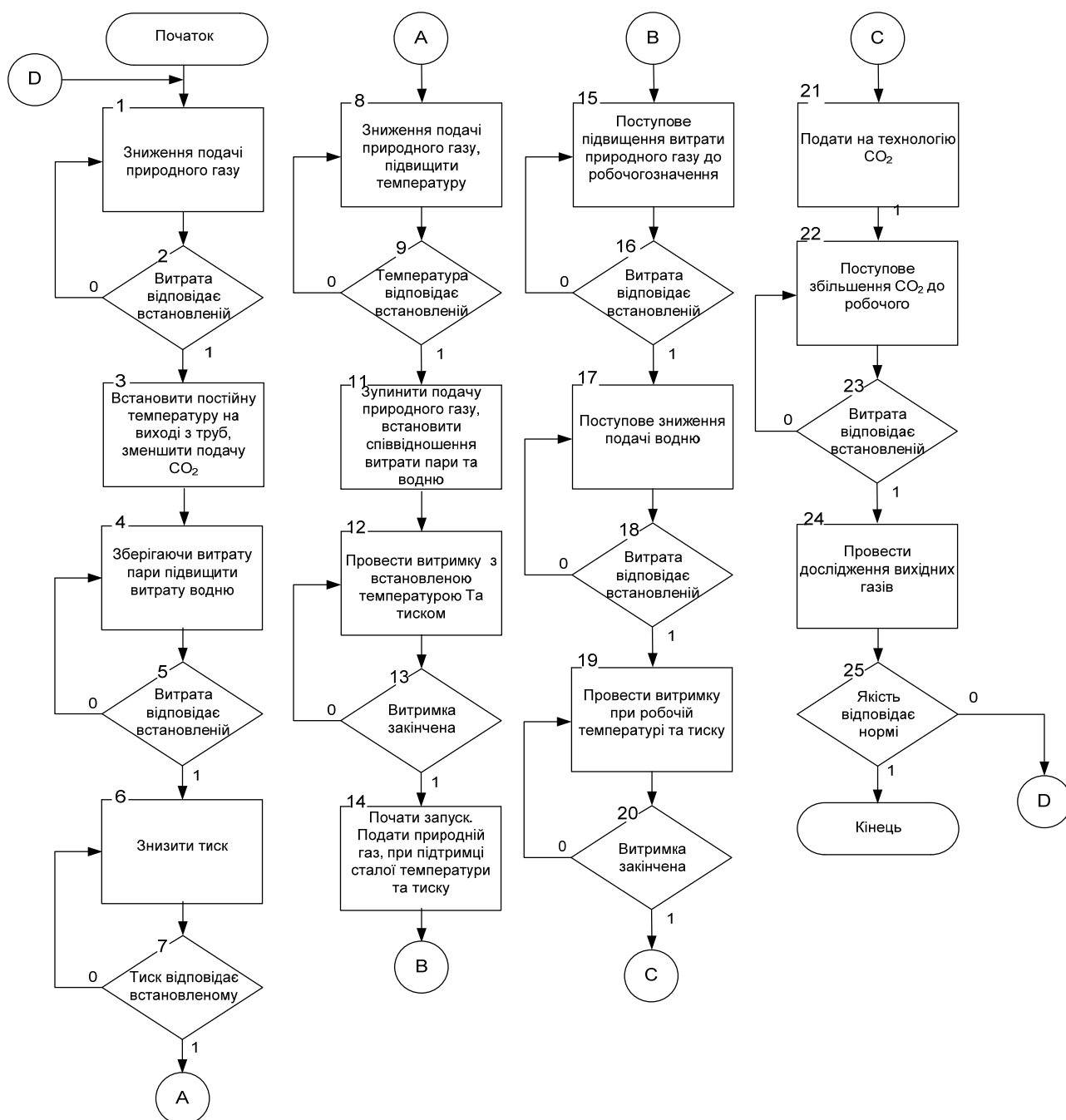


Рис. 1 – Блок-схема алгоритму регенерації каталізатора

Радіальні і окружні температурні навантаження σ_r^p , σ_θ^p від дії перепаду тиску визначаються як:

$$\sigma_r^p = \frac{p_1 a_T^2}{b^2 - a_T^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2} \right), \quad (4)$$

$$\sigma_\theta^p = \frac{p_1 a_T^2}{b^2 - a_T^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2} \right), \quad (5)$$

де p_1 – тиск на внутрішній поверхні труби, тиск на зовнішній поверхні труби дорівнює нулю, a_T – границя розповсюдження радіальних тріщин: $a \leq r \leq a_T$ – область тріщин, $a_T \leq r \leq b$ – тріщини відсутні.

Сумарна окружна напруга σ_θ визначається:

$$\sigma_\theta = \sigma_\theta^p + \sigma_\theta^T, \quad (6)$$

Отримання повних характеристик тривалої міцності матеріалу у всьому діапазоні робочих температур і тисків пов'язано з великим обсягом експериментальних досліджень, тому в умовах зміни навантаження пропонується використовувати апроксимацію температурно-часових залежностей тривалої міцності:

$$\lg \sigma_t^T = \lg \sigma_{100}^T - A^T (\lg t - \lg t_{100}), \quad (7)$$

де σ_θ^T – межа тривалої міцності при температурі T за t годин, σ_{100}^T – межа тривалої міцності при температурі T за 100 годин, A^T – коефіцієнт, залежний від температури, t – час в годинах, при якому відбувається руйнування випробуваного зразка, $t_{100} = 100$ годин. Тут використовуються не результати короткочасних випробувань на пружність за температури T , а межа тривалої міцності при температурі T за 100 годин. Коефіцієнт A^T визначається за результатами експериментів в умовах експлуатації.

Ресурс роботи данного елемента реакційної труби при експлуатації установки за регламентом:

$$\lg t = \frac{\lg t_{100} - 1}{A^T (\lg \sigma_t^T - \lg \sigma_{100}^T)}, \quad (8)$$

Мінімальне значення $\lg t(r)$ дає час експлуатації до появи першої тріщини. Пропонується наступний порядок розрахунку ресурсу роботи реакційних труб. Визначаються напруги на внутрішній поверхні труби при сталому режимі експлуатації. За формулою (2) знаходиться час до руйнування (появи тріщин на внутрішній поверхні). Так як температура по радіусу труби міняється, то знаходиться час до руйнування елементів труби по радіусу. Таким чином отримаємо залежність $\ln t(r)$, по якому можлива зробити висновок про ресурс реакційних труб. Аналогічно може бути визначений ресурс при заданому перегріві зовнішньої поверхні труби. При визначенні навантаження від перепаду тисків тут враховується межа поширення тріщин, що дозволяє точніше визначати навантаження при перегріві металу.

За другою декомпозицією зменшення часу напрацювання реакційних труб повинно бути зведена до мінімуму. Отже ця складова не повинна впливати на собівартість розрахованого циклу виробництва.

Задачу оптимізації цієї складової можна звести до мінімізації двох вище згадуваних факторів. Критерій оптимізації який може бути сформований з наведених складових у собівартості:

$$C = \int_0^t (A(t, grad(T(t)), N)F_{\text{пригаз}} + F_{\text{труб}}(t))dt \rightarrow \min, \quad (9)$$

де C – складова собівартості, A – активність каталізатора, t – час, $T(t)$ – зміна температури у часі, N – кількість змін навантаження, $F_{\text{пригаз}}$ – затрати на природний газ, $F_{\text{труб}}(t)$ – сума витрати на експлуатацію труб.

На рис. 2 наведено приклади складових собівартості та можливий окіл екстремуму.

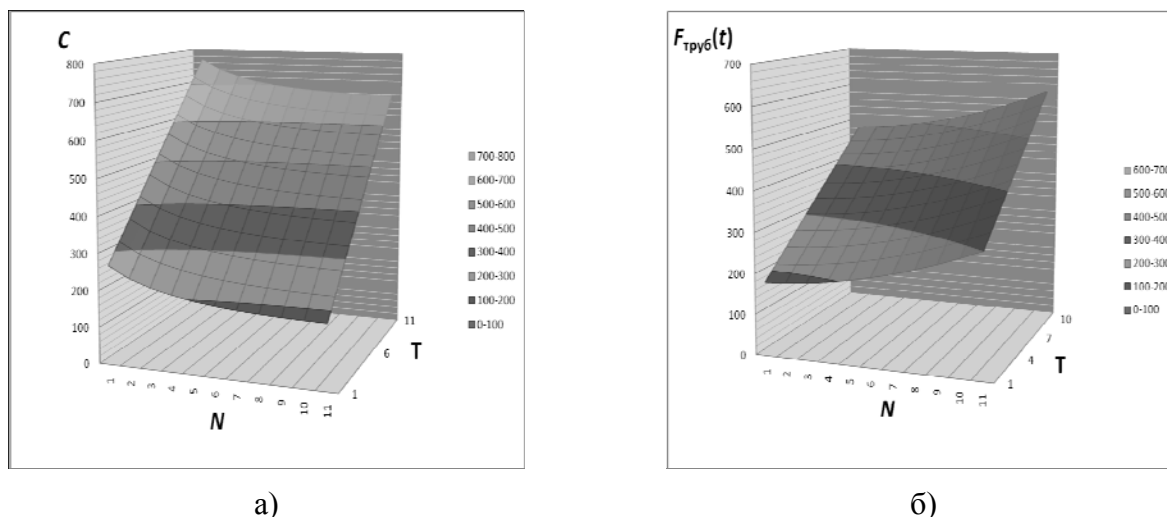


Рис. 2 – Витрати при різній кількості переходів на нові режими у часі (а)
і затрати на експлуатацію труб у часі (б)

1. Колпаков В. В. Конвертори метану. Дослідження можливостей зміни навантаження. – // Хімічна промисловість України. – К., 2009. – №4. – С. 22–26
2. Способ восстановления каталитической активности катализаторов риформинга в рабочем цикле : пат. 02095137 Рос. Федерация : МПК⁷ 6 В 01 J 23/96 / Мясичев Ю. Г., Гаранин Д. И., Федоров А. П., Демин В. М., Бауман А. Э. ; заявитель и патентообладатель Филиал Научно-производственного объединения «Леннефтьфим» по разработке и внедрению нефтехимических процессов. – № 5018851/04 ; заявл. 18.12.91 ; опубл. 10.11.1997, Бюл. № 23. – 5 с.
3. Горчаков Л. Н. К определению остаточного ресурса реакционных труб нефтехимической аппаратуры / Горчаков Л. Н., Хакимов А. Г. // «Разрушение и мониторинг свойств металлов» и «Контроль технологий, изделий и окружающей среды физическими методами» : науч.-практ. конф., Екатеринбург, Институты машиноведения и физики металлов УрО РАН 24 – 26 апр. 2007 г.: тезисы док. – Екатеринбург, 2007. – С. 120.